Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 1, Apr. May. 2020, p. 73- 84

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 1، فروردین -اردیبهشت 1399 ص. 84-73

بهینه‌سازی فرمول پودینگ طالبی با کمک جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا با شیر خشک و شکر به روش سطح پاسخ

الناز شفیعی[1]- محمد گلی[2*]

تاریخ دریافت: 1397/10/30
تاریخ پذیرش: 1398/04/10

چکیده

دسرهای شیری محصولاتی بر پایه شیر هستند که به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا، از جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی برخوردارند. فراوانی ترکیبات زیستی مهم در ریز جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* از یک طرف و عوارض جانبی ناشی از مصرف ساکارز از طرف دیگر، موجب شد تا در این پژوهش، از *اسپیرولینا پلاتنسیس* با سطح جایگزینی با شیر خشک (2- صفر درصد) و استویا با سطح جایگزینی با شکر (100- صفر درصد) جهت دستیابی به فرمول بهینه تولید پودینگ استفاده شد. بهینه‌سازی فرمولاسیون بر اساس پارامترهای آب اندازی، ویسکوزیته، سفتی و پیوستگی بافت توسط روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با 6 نقطه مرکزی و دو تکرار (α=2) در سایر نقاط صورت گرفت. نتایج نشان داد که برای روند تغییرات آب‌اندازی، مدل خطی پیشنهاد شد و اثر مستقل جایگزینی استویا با شکر، اثر متقابل جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا و اثر درجه دوم هر یک از متغیرهای مستقل، معنی‌دار ($P <0/001$) بود. اثر مستقل هر یک از متغیرهای مستقل و اثر متقابل آن‌ها نیز بر ویسکوزیته معنی‌دار($P <0/001$) بود. جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا در فرمولاسیون پودینگ، تأثیر قابل توجهی بر سفتی و پیوستگی بافت نداشت. درحالی‌که اثر متقابل جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا بر سفتی و پیوستگی بافت نمونه‌های پودینگ معنی‌دار ($P <0/001$) بود. فرمول بهینه پیشنهادی شامل بهینه 1 (2 درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و 95 درصد جایگزینی استویا) و بهینه 2 (0/1 درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و50 درصد جایگزینی استویا) بود.

واژه‌های کلیدی: *اسپیرولینا پلاتنسیس*، استویا، پودینگ طالبی، بهینه‌سازی فرمولاسیون، ویسکوزیته، خواص بافتی

مقدمه

امروزه با افزایش آگاهی عموم مردم از تأثیر تغذیه مناسب بر سلامتی، توجه تولیدکنندگان مواد غذایی بر تولید محصولات فراسودمند با ارزش غذایی بالاتر متمرکز شده است(Louis *et al*., 2007). مصرف شیر و فرآورده‌های آن به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه جوامع انسانی مطرح است و سطح سلامتی افراد جامعه همبستگی بالایی با مصرف فرآورده‌های لبنی دارد. در این میان، دسرهای لبنی بخش عمده‌ای از محصولات لبنی را به‌خود اختصاص داده و با توجه به اهمیت تغذیه‌ای آن‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند(مهرابی و همکاران، 1397). دسر شیری محصولی است که حاوی حداقل 50 درصد شیر تازه گاو یا شیر بازساخته و بازترکیبی است که با افزودنی‌های مجاز مانند انواع طعم‌دهنده‌ها، شیرین‌کننده‌ها، قوام‌دهنده‌ها و پایدارکننده‌ها، پس از طی فرایند حرارتی نظیر پاستوریزاسیون و یا استرلیزاسیون تهیه می‌شود (Tarrega *et al*., 2007). در سال‌های اخیر، استفاده از ریز جلبک‌ها با توجه به دارا بودن خواص منحصر به فرد و به عنوان منابع مغذی و جایگزین با مواد غذایی رشد روز افزونی داشته است. در میان گونه‌های شناخته شده جلبک‌ها، *اسپیرولینا پلاتنسیس*[3] یکی از ریز جلبک‌های خوراکی رایج و بدون عوارض جانبی می‌باشد (Batista *et al*., 2012). *اسپیرولینا پلاتنسیس* از جمله ریز جلبک‌های چندسلولی و رشته‌ای سبز- آبی است که منبع غنی از پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها، مواد معدنی و رنگدانه‌ها می‌باشد (Falquet, 2005). مستندات بسیاری دال بر ویژگی‌های سلامت بخشی *اسپیرولینا پلاتنسیس* در ارتباط با بسیاری از بیماری‌ها همچون فشار خون بالا، چربی خون بالا، دیابت، انواع سرطان‌ها و نقص سیستم ایمنی انسان (ایدز)، در پایگاه‌های مختلف علمی ارائه شده است (Bleay, 1993). با این حال، به دلیل ویژگی‌های ارگانولپتیکی نامطلوب *اسپیرولینا پلاتنسیس*، احتمالا معرفی آن به

1 و 2- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: Mgolifood@yahoo.com)

3 *Spirulina platensis*

DOI: 10.22067/ifstrj.v16i2.78690

تنهایی به‌عنوان غذا، با عدم استقبال مصرف‌کنندگان روبرو خواهد شد، بنابراین یکی از راهکارهای کارآمد برای وارد کردن این گروه از مواد غذایی به سبد غذایی انسان، استفاده از آن‌ها در فرمولاسیون محصولات غذایی شناخته شده می‌باشد (Alamri *et al.*, 2014).

یکی از مواد مصرفی در تهیه دسرهای شیری، شیرین‌کننده‌ها هستند. شکر به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی در تولید انواع دسرهای بر پایه پروتئین‌های شیر، دارای خواص عملکردی ویژه از جمله شیرین‌کنندگی، جلوگیری از کلوخه‌ای شدن در هنگام مخلوط کردن مواد فرمولاسیون و قابلیت جذب آب بالا می‌باشد (Alamri *et al.*, 2014). با وجود تمام مزایایی که ساکارز به‌عنوان یک شیرین‌کننده طبیعی دارد اما بدلیل ایجاد بیماری‌هایی مانند فشار خون، قلبی- عروقی، فساد دندان، چاقی و افزایش سطح گلوکز خون (به‌ویژه برای افراد دیابتی) مضر است (شوریده، 1389). امروزه به‌عنوان جایگزین ساکارز از انواع شیرین‌کننده‌های غیرکالریک استفاده می‌شود که در مقادیر کم و بسیار کم، شیرینی بسیار زیادی ایجاد می‌کنند و عمدتاً مشابه با شیرینی ساکارز بوده اما جذب بدن نمی‌شوند(Obrien-Nabors, 2011). از این میان استویا با شیرینی بیشتر از ساکارز(400- 300 برابر)، کالری کمتر و اندیس گلایسمی پایین‌تر، شیرین کننده گیاهی مناسبی برای جایگزین با ساکارز می‌باشد (Saulo, 2005).

شهبازی‌زاده و همکاران (1393)، اثر جایگزینی ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌طور جزئی و یا کامل با تثبیت‌کننده ثعلب در بستنی را بررسی کردند. در پژوهش دیگر که توسط رسولی و همکاران (1396) در ارتباط با بهینه‌سازی فرمولاسیون بستنی سنتی ایرانی با *اسپیرولینا پلاتنسیس* به روش سطح پاسخ انجام گرفت، نتایج نشان داد که حضور این ریز جلبک در فرمولاسیون بستنی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش ویسکوزیته و مقاومت به ذوب و کاهش اوران بستنی سنتی می‌شود. Barkallah و همکاران (2017) با غنی‌سازی ماست توسط ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، ظرفیت نگهداری آب بهتر و آب‌اندازی کمتر نمونه‌های حاوی این ریزجلبک در طی 28 روز نگهداری در سرما را گزارش کردند. با بهینه‌سازی مافین کم‌کالری با استفاده از شیرین‌کننده طبیعی استویا و مالتودکسترین، تفاوت معنی‌داری در سفتی بافت، میزان نگهداری آب و ارزیابی حسی تیمارهای مختلف مشاهده، و نمونه حاوی 2 درصد استویا و 17 درصد مالتودکسترین به‌عنوان نمونه بهینه معرفی شد (نجفی و همکاران، 1395).

هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی فرمولاسیون پودینگ طالبی به کمک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا به‌عنوان جایگزین شیرخشک و شکر بود.

مواد و روش‌ها

در فرمولاسیون دسر شیری از شیر خشک بدون چربی، نشاسته ذرت اصلاح شده، شکر و کاراگینان استفاده شد. شیر خشک بدون چربی، نشاسته ذرت اصلاح شده، شکر و کاراگینان به‌ترتیب از شرکت آرین لبن نقش جهان، آردینه، نقش جهان و بهین گارد تهیه شد. پودر ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، استویا، ایزومالت(به‌عنوان حجم‌دهنده) و اسانس طالبی با نام تجاری جیوادان از شرکت سلامت گستران آرایان(فرامنش) فراهم گردید.

تهیه دسر شیری

فرمولاسیون پایه دسر شیری شامل آب (74/4%)، شیر خشک (12%)، نشاسته ذرت اصلاح شده (5/43%)، شکر (8%)، کاپاکاراگینان(0/01%) و نمک(0/1%) می‌باشد. به‌منظور تهیه دسر شیری ابتدا مواد پودری با هم ترکیب گردید. پس از فرایند حرارتی (دمای 90 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه)، مخلوط تا دمای 40 درجه سانتی‌گراد خنک و اسانس طالبی به آن اضافه شد و پس از 24 ساعت ماندن در دمای یخچال، دسر شیری آماده شد (Ares *et al.*, 2009). از آنجایی که این محصول در طول مدت نگهداری دچار اشکالات فیزیکوشیمایی از جمله آب‌اندازی می‌شود لذا به‌منظور رفع این اشکالات و بهینه‌سازی شرایط فرایند، متغیرهای مستقل A (درصد *اسپیرولینا پلاتنسیس*) و B (درصد استویا) در پنج سطح (جدول 1) انتخاب شدند. برای به‌دست آوردن نقطه بهینه، 22 آزمایش توسط نرم‌افزار Design Expert پیشنهاد گردید(جدول 2)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها نیز بیان شده است.

جدول 1- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوطه +α				-α
جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک (٪)	A	100	75	50	25	0
جایگزینی استویا با شکر (٪)	B	2	1/5	1	0/5	0

جدول 2- آزمایشات ارائه شده توسط نرم افزار با استفاده از طرح RSM

Run	*اسپیرولینا پلاتنسیس*	استویا	Run	*اسپیرولینا پلاتنسیس*	استویا
1	1	0	12	1	50
2	1	0	13	2	50
3	0/5	25	14	1	50
4	0/5	25	15	1	50
5	1/5	25	16	2	50
6	1/5	25	17	0/5	75
7	1	50	18	0/5	75
8	0	50	19	1/5	75
9	0	50	20	1/5	75
10	1	50	21	1	100
11	1	50	22	1	100

آب‌اندازی (سینرسیس)

برای اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی نمونه‌ها، 100 گرم از نمونه در داخل لوله سانتریفوژ توزین و سپس در سرعت 3500 دور بر دقیقه به مدت 30 دقیقه سانتریفوژ شد. میزان سرم جدا شده نسبت به مقدار وزن اولیه نمونه بر حسب درصد بیان‌کننده میزان آب‌اندازی محاسبه گردید (Verbeken *et al*., 2006).

ویسکوزیته مطلق

جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته، نمونه‌ها در سرعت برشی 2 دور بر دقیقه با دستگاه ویسکومتر چرخشی (RVB-1، چین) مورد آزمون قرار گرفت و ویسکوزیته مطلق قرائت گردید (Emmons *et al*., 1972).

ویژگی‌های بافتی

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پودینگ طالبی، از دستگاه سنجش بافت بروکفیلد مجهز به پروب استوانه‌ای استفاده شد. قطر و سرعت پروب به‌ترتیب 40 میلی‌متر و 0/5 میلی‌متر بر ثانیه بود (Alamri *et al*., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

با توجه به درصدهای به‌دست آمده از آزمون‌های تولید اولیه، حد بالا و پایین متغیرها به دست آمدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert نسخه 9 روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با میزان α برابر 2 و با 6 نقطه مرکزی برای آن انتخاب شد. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی و بافتی پودینگ و آنالیز آماری شامل اثر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر بر ویژگی‌های دسر تولید شده و توجیه این اثرات در این بخش بیان شده است. اطلاعات ارائه شده در این بخش کمک می‌کند تا تأثیر میزان ماده اولیه را بر ویژگی‌های دسرهای تولید شده مورد بررسی و تحلیل قرار داده تا بهترین روش و شرایط برای تولید پودینگ به‌دست آید. جست و جوی شرایط عملیاتی بهینه برای دستیابی به بهترین پاسخ‌ها با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام شد. در این تکنیک فضای پاسخ با استفاده از مدل‌های ایجاد شده و به‌منظور یافتن بهترین شرایطی که اهداف بهینه‌سازی مورد نظر را برآورده کند، جست و جو شد. پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد و مجموع مربعات باقی‌مانده برآورد شده کم و ضریب همبستگی بالا باشد.

نتایج و بحث

به‌منظور به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (آب‌اندازی، ویسکوزیته، سفتی و پیوستگی بافت) ابتدا رابطه‌های چندجمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوریل (تعاملی)، درجه دو و درجه سه بر داده‌های به‌دست آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. لازم به ذکر است از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات آب‌اندازی و ویسکوزیته در اثر متغیرهای مورد بررسی(جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر) به‌ترتیب، مدل خطی درجه سه و درجه دو با ضریب تعیین ($R^2>0/90$) می‌باشد. بهترین مدل برای بیان رابطه سفتی و پیوستگی بافت با متغیرهای مستقل نیز به‌ترتیب، مدل خطی درجه سه و درجه دو با ضریب تعیین($R^2>0/90$) می‌باشد. نتایج

مربوط به تجزیه واریانس برای متغیرهای پاسخ در جدول 3، نشان داده شده است.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا بر متغیرهای پاسخ (آب‌اندازی، ویسکوزیته، سفتی و پیوستگی بافت)

منبع تغییرات	آب اندازی (%)			ویسکوزیته (cP)			سفتی (N)			انسجام و پیوستگی		
	DF	SS	Prob>F	DF	SS	Prob>F	DF	SS	Prob>F	DF	SS	Prob>F
مدل	6	$5/81\times10^{8}$	<0/0001***	5	$2/14\times10^{-3}$	<0/0001***	5	19/41	<0/0001***	3	0/2	<0/0001***
A	—	—	—	1	$6/51\times10^{-4}$	<0/0001***	-	-	-	-	-	-
B	1	$2/15\times10^{6}$	0/0447*	1	$1/64\times10^{-4}$	<0/0001***	-	-	-	-	-	-
AB	1	$7/31\times10^{7}$	<0/0001***	1	$2/29\times10^{-4}$	<0/0001***	1	0/91	0/0257*	1	0/032	0/005**
A^2	1	$3/40\times10^{8}$	<0/0001***	1	$1/58\times10^{-5}$	0/0463*	1	6/83	<0/0001***	1	0/14	<0/0001***
B^2	1	$2/63\times10^{8}$	<0/0001***	1	$8/15\times10^{-4}$	<0/0001***	1	0/58	0/0679ns	1	0/084	<0/0001***
A^2B	1	$4/47\times10^{6}$	0/007**	-	-	-	1	7/45	<0/0001***	-	-	-
AB^2	1	$1/42\times10^{6}$	0/0947ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A^3	-	-	-	-	-	-	1	4/14	<0/0001***	-	-	-
باقی مانده	13	$5/67\times10^{6}$	-	14	$4/62\times10^{-6}$	-	16	2/41	-	18	0/056	-
عدم برازش	1	$3/47\times10^{5}$	0/3942ns	2	$1/23\times10^{-6}$	0/8501ns	3	0/49	0/3812ns	5	0/018	0/3351ns
خطای کل	12	$5/33\times10^{6}$	-	12	$4/50\times10^{-5}$	-	13	1/92	-	13	0/038	-
کل	19	$5/58\times10^{8}$	-	19	$2/19\times10^{-3}$	-	21	21/83	-	21	0/25	-

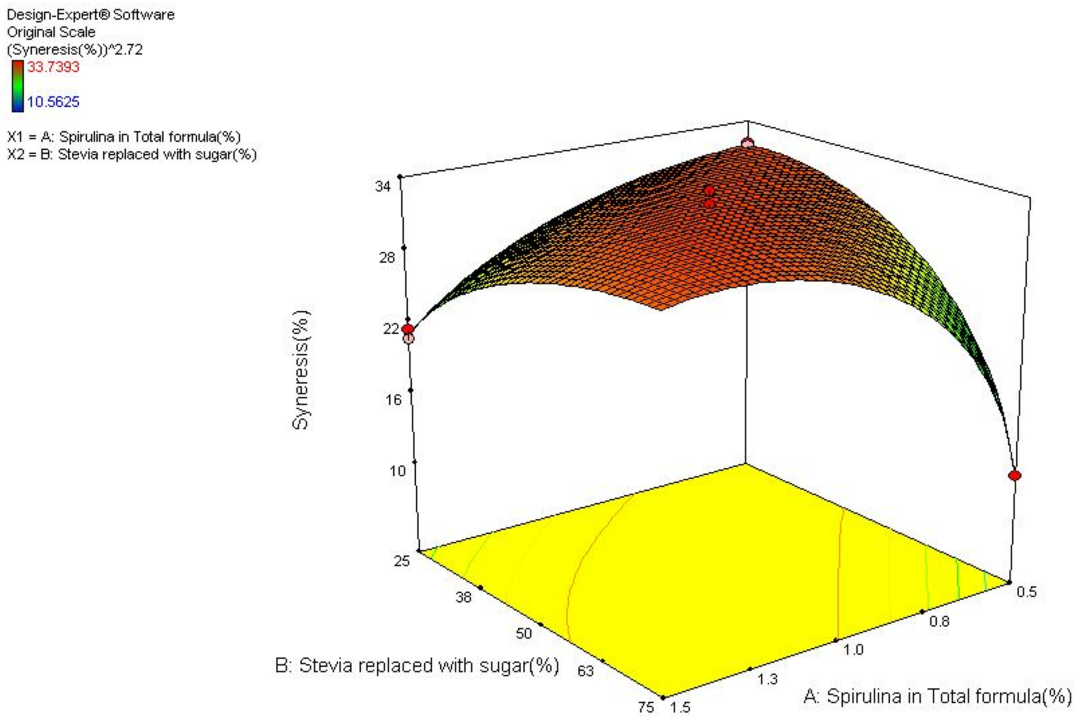
خطوط تیره در جدول نشان دهنده بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح 0/1 درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

آب‌اندازی (سینرسیس)

آب‌اندازی یکی از فاکتورهای کیفی بسیار مهم در ارزیابی پایداری فرآوردهای لبنی طی نگهداری است که چالش مهمی به حساب می‌آید. سینرسیس معمولا به دلیل افزایش اتصالات مولکولی بین زنجیره‌ها و خروج آب از ساختار به‌وجود می‌آید. با توجه به نتایج (جدول 3)، اثر مستقل جایگزینی استویا با شکر، اثر متقابل جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا و اثر مجذور هر یک از متغیرهای مستقل بر فاکتور آب‌اندازی معنی‌دار بود($P<0/05$ و یا $P<0/001$). همان‌طور که در شکل 1، مشاهده می‌شود، میزان سینرسیس نمونه‌ها در سطوح بالاتر جایگزینی استویا، با کاهش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* کاهش یافت و در سطوح پایین‌تر جایگزینی استویا، با کاهش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* میزان آب‌اندازی به‌طور محسوسی افزایش یافت. ظرفیت نگهداری آب با توانایی پروتئین‌ها، چربی‌ها و فیبر رژیمی برای حفظ و نگهداری آب درون ساختار محصول مرتبط است. از آن‌جایی که *اسپیرولینا پلاتنسیس* دارای مقادیر بالای پروتئین، فیبر رژیمی و چربی است، حضور آن در فرمولاسیون انواع دسرهای منجمد تأثیر به‌سزایی در کاهش آب‌اندازی محصول دارد (Barkallah *et al*., 2017). در این راستا، محمدی الستی و همکاران (1395) در گزارش کردند افزودن *اسپیرولینا پلاتنسیس* سبب کاهش میزان آب‌اندازی ماست شده است و با افزایش غلظت *اسپیرولینا پلاتنسیس*، کاهش آب‌اندازی در نمونه‌های ماست چشم‌گیرتر بوده است.

میزان آب اندازی نمونه‌ها در سطوح بالاتر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با کاهش درصد جایگزینی استویا کاهش یافت، و در سطوح پایین‌تر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با کاهش درصد جایگزینی استویا میزان سینرسیس نمونه‌ها افزایش یافت (شکل 1). استویا دارای ظرفیت نگهداری آب معادل 4/7 میلی‌لیتر بر گرم است و این ظرفیت نگهداری آب بالای استویا ناشی از مقادیر بالای پروتئین در آن می‌باشد (میانی سریزدی و همکاران، 1395). بنابراین استویا به‌واسطه افزایش ماده خشک نمونه‌های پودینگ در اثر وجود مقادیر بالای پروتئین و پلی‌ساکارید در آن، در کاهش آب‌اندازی محصول تأثیرگذار بود. Amerinasab و همکاران (2015) نتایج مشابهی را گزارش نموده و قند خرما را عامل مؤثر در کاهش آب‌اندازی ماست معرفی نمودند. باید متذکر شد که حذف کامل ساکارز از نمونه‌های پودینگ و جایگزینی آن با استویا، تأثیر منفی بر آب‌اندازی آن‌ها داشت. در واقع وقتی ساکارز در سطوح بالا و یا به‌طور کامل از فرمولاسیون نمونه حذف شود و به‌عنوان جایگزین آن از استویا و یا هر نوع شیرین کننده‌ای استفاده گردد، جهت کاهش آب‌اندازی

محصول باید از یک ماده که بتواند آب آزاد را در خود به دام بیندازد و ظرفیت نگهداری آب را در محصول بالا ببرد استفاده شود، در پژوهش حاضر از صمغ کاپاکاراگینان استفاده شد.

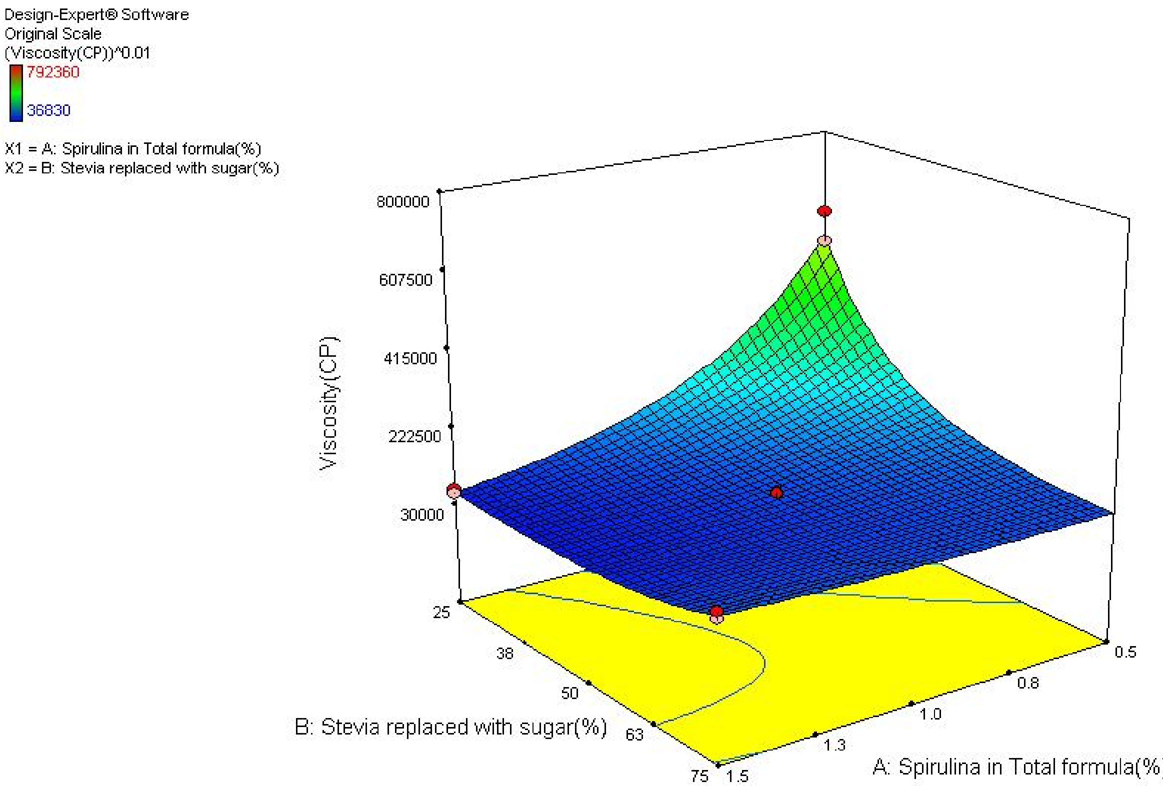


شکل 1- نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر بر میزان آب‌اندازی پودینگ طالبی.

ویسکوزیته

مطابق با جدول 3، اثر مستقل جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، اثر مستقل جایگزینی استویا، اثر متقابل جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا، اثر مجذور جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و اثر مجذور جایگزینی استویا بر میزان ویسکوزیته معنی‌دار بود ($P<0/05$ و یا $P<0/001$). میزان ویسکوزیته در سطوح پایین‌تر جایگزینی استویا، با کاهش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* تا حدودی ثابت و پس از آن افزایش یافت؛ در حالی که، در سطوح بالاتر جایگزینی استویا، کاهش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته نداشت (شکل 2). به‌طور کلی، حضور *اسپیرولینا پلاتنسیس* در فرمولاسیون پودینگ، موجب افزایش ویسکوزیته آن گردید که علت آن می‌تواند به‌دلیل ساختار پروتئینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و ایجاد تعاملات بین سلولی باشد. *اسپیرولینا پلاتنسیس* با قابلیت جذب آب بالا موجب کم شدن تحرک آب می-شود (اسلامی مشکنانی و همکاران، 1393). همچنین وجود فیبر و ترکیبات آب‌دوست دارای گروه هیدروکسیل در ساختار این ریزجلبک، تأثیر به‌سزایی بر افزایش ویسکوزیته محصول می‌گذارد(محمدی الستی و همکاران، 1395). شایان ذکر است که *اسپیرولینا پلاتنسیس* دارای ظرفیت نگهداری آب 1/45 گرم آب در هر گرم پروتئین است. ظرفیت اتصال آب کازئین حدود 2/5 گرم آب در ازای هر گرم پروتئین است. از این‌رو، ظرفیت نگهداری آب در *اسپیرولینا پلاتنسیس* کمتر از جزء کازئینی شیر خشک است و در نتیجه افزایش سطح جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک می‌تواند موجب کاهش ویسکوزیته شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که *اسپیرولینا پلاتنسیس* تا حدی و نه به‌طور کامل می‌تواند جایگزین شیر خشک گردد (شهبازی‌زاده و همکاران، 1393). در سطوح پایین‌تر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با کاهش درصد جایگزینی استویا، میزان ویسکوزیته تا حدودی ثابت و پس از آن افزایش یافت، و در سطوح بالاتر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با کاهش درصد جایگزینی استویا تغییرات معنی‌داری در میزان ویسکوزیته مشاهده نشد (شکل 2). با توجه به نتایج به‌دست آمده و پژوهش‌های سایر محققین، ویسکوزیته با تغییر در میزان مواد جامد محصول به‌ویژه تغییر در میزان ساکارز، تغییر می‌یابد. قندهای دی‌ساکاریدی مانند ساکارز به دلیل ویژگی آبدوستی که دارند و همچنین توانایی ایجاد پیوند

هیدروژنی با مولکول‌های آب، ویسکوزیته بالاتری در محیط ایجاد می‌کنند. به‌علاوه، اندازه مولکول هم عامل مؤثری در ایجاد پیوند هیدروژنی با آب است، که ساکارز با وزن مولکولی کم و تمایل به جذب آب بالا باعث افزایش ویسکوزیته محصول می‌گردد (Saniah *et al*., 2012). Philip Aidoo و همکاران (2014) در پژوهشی که بر فرمولاسیون شکلات بدون قند با ترکیب جایگزین کننده‌های ساکارز متفاوت و بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و کیفی نمونه‌های شکلات داشتند، دریافتند که نوع شیرین‌کننده تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته نمونه‌های شکلات داشته، و ویسکوزیته نمونه‌های حاوی استویا و توماتین به‌طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های حاوی ساکارز بوده است که با یافته‌های ما در این پژوهش مطابقت نداشت. نتایج مشابهی توسط غیبی و همکارن (1396)، نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی استویا با ساکارز در فرمول بستنی، ویسکوزیته مخلوط بستنی کاهش یافت.



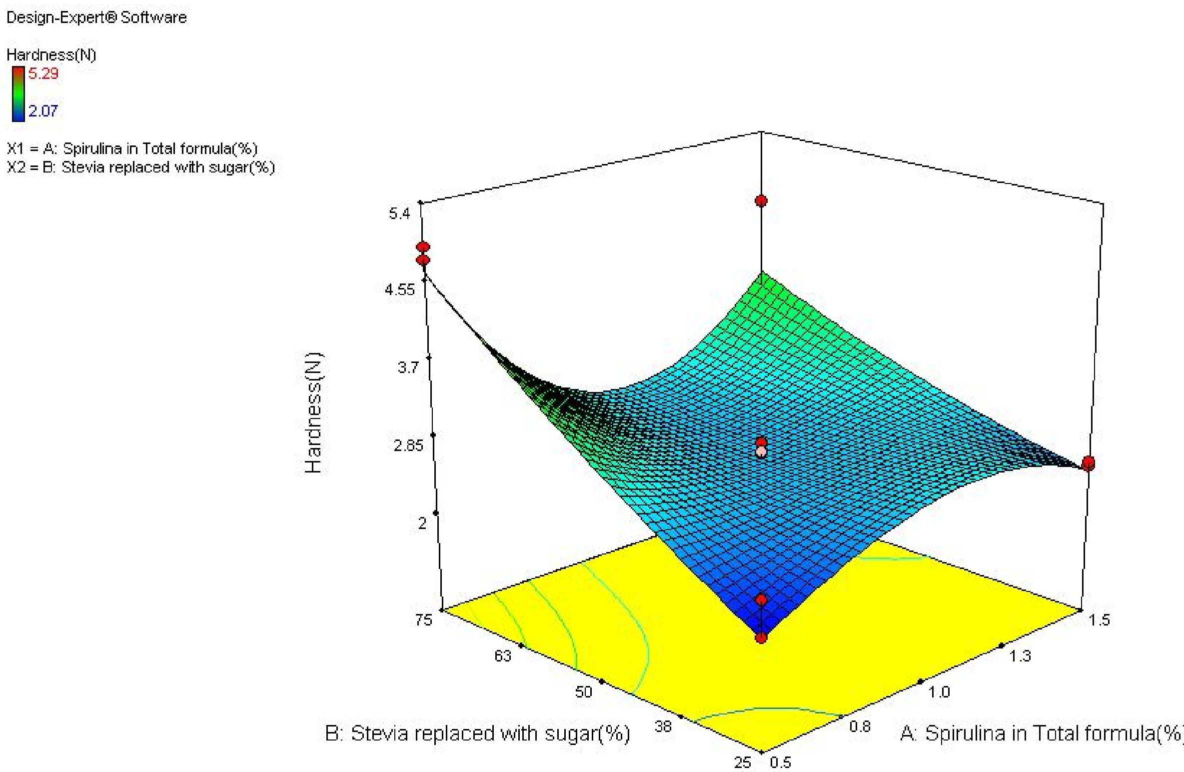
شکل 2- نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر بر میزان ویسکوزیته.

سفتی بافت

نتایج جدول 3، نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه شده برای پیش‌بینی اثر متغیرهای آزمایش بر سفتی بافت مناسب می‌باشد. اثر متقابل متغیرها و اثر درجه دوم جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر پاسخ آزمایش معنی‌دار بود($P<0/05$ و یا $P<0/001$). نمودار سطح پاسخ (شکل 3)، نشان داد که در سطوح پایین‌تر جایگزینی استویا، با افزایش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* میزان سختی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت، در حالی‌که در سطوح بالاتر جایگزینی استویا، با افزایش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* میزان سختی نمونه‌ها ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. برخی از محققان اشاره کردند که ذرات بزرگ *اسپیرولینا پلاتنسیس* می‌تواند موجب عدم اتصال و به‌هم پیوستگی شبکه و نهایتاً ایجاد ساختار نرم‌تر شوند. در واقع، مولکول‌های پروتئین *اسپیرولینا پلاتنسیس* با داشتن خاصیت هیدروفیلیک، با سایر مولکول‌ها برای اتصال با مولکول‌های آب رقابت می‌کنند و این امر منجر به تشکیل ساختار ژلی ضعیف‌تر و بی ثبات‌تر می‌شود (Shahbazizadeh *et al*., 2015). از طرفی، سفتی بافت تا حد زیادی وابسته به ماده خشک، میزان و نوع پروتئین نمونه است. میزان بالای پروتئین سبب ایجاد اتصالات متقاطع در شبکه ژل و در نهایت ساختار سفت‌تر و متراکم‌تر می‌گردد. اما باید به این نکته اشاره داشت که مقدار چربی نمونه نیز نقش مهمی در بافت محصول ایفا می‌کند. از آنجایی که *اسپیرولینا پلاتنسیس* علاوه بر پروتئین، دارای مقادیر قابل ملاحظه چربی نیز

می‌باشد، مداخله مولکول‌های چربی این ریز جلبک می‌تواند در تشکیل شبکه ژلی ضعیف‌تر و ایجاد بافت نرم در محصول مؤثر باشد (Paseephol *et al*., 2008). Malik (2011) گزارش کرد که با افزایش سطوح جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* (به‌ویژه در سطوح جایگزینی بالاتر از 50 درصد) با تثبیت کننده‌ها در مخلوط بستنی، سختی بافت بستنی کاهش معنی‌داری داشت. این محقق علت این پدیده را به ظرفیت نگهداری آب بالای *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌واسطه ترکیب و مقدار آمینواسیدهای موجود در آن نسبت داد. Barkallah و همکاران (2017) نیز در بررسی‌های خود با مقایسه پارامترهای بافتی (استحکام و انسجام) نمونه‌های ماست حاوی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و گروه کنترل، به این نتیجه دست یافتند که گروه کنترل بیشترین استحکام بافت را داشت و تا حدی مشابه به نمونه حاوی 0/25 درصد *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود و حضور *اسپیرولینا پلاتنسیس* در نمونه‌ها تأثیر چندانی بر انسجام آن‌ها نداشت.

در سطوح پایین‌تر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، میزان سختی نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی استویا افزایش خطی داشت، و در سطوح بالاتر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با افزایش درصد جایگزینی استویا سختی نمونه‌ها با شیب کمتر افزایش یافت (شکل 3). احتمالا با افزایش سطوح جایگزینی استویا در فرمولاسیون پودینگ، میزان ماده خشک مخلوط کاهش می‌یابد. در واقع، آب جایگزین ساکارز در مخلوط شده و در طول فرایند انجماد در اثر افت دمای نقطه انجماد، حجم فاز یخی افزایش می‌یابد. از طرفی، ساکارز با افزایش ویسکوزیته مخلوط و با محدود کردن انتقال جرم از مهاجرت مولکول‌های آب به سطح کریستال‌های یخ جلوگیری کرده و سرعت رشد کریستال‌های یخ را کاهش می‌دهد. بنابراین، با کاهش مقدار ساکارز در اثر افزایش سطوح جایگزینی استویا، کریستال‌های یخ بیشتری در طول انجماد رشد می‌کنند و حجم فاز یخی افزایش و در نتیجه سفتی بافت افزایش می‌یابد (غیبی و همکاران، 1396). نتایج مطالعه Philip Aidoo و همکاران (2014) نشان داد که استفاده از استویا و توماتین به‌جای سوکروز در فرمولاسیون شکلات، سبب نرم‌تر شدن بافت شکلات شد. در حالی که جایگزینی سوکروز با اینولین در شکلات موجب سخت‌تر شدن بافت آن گردید.

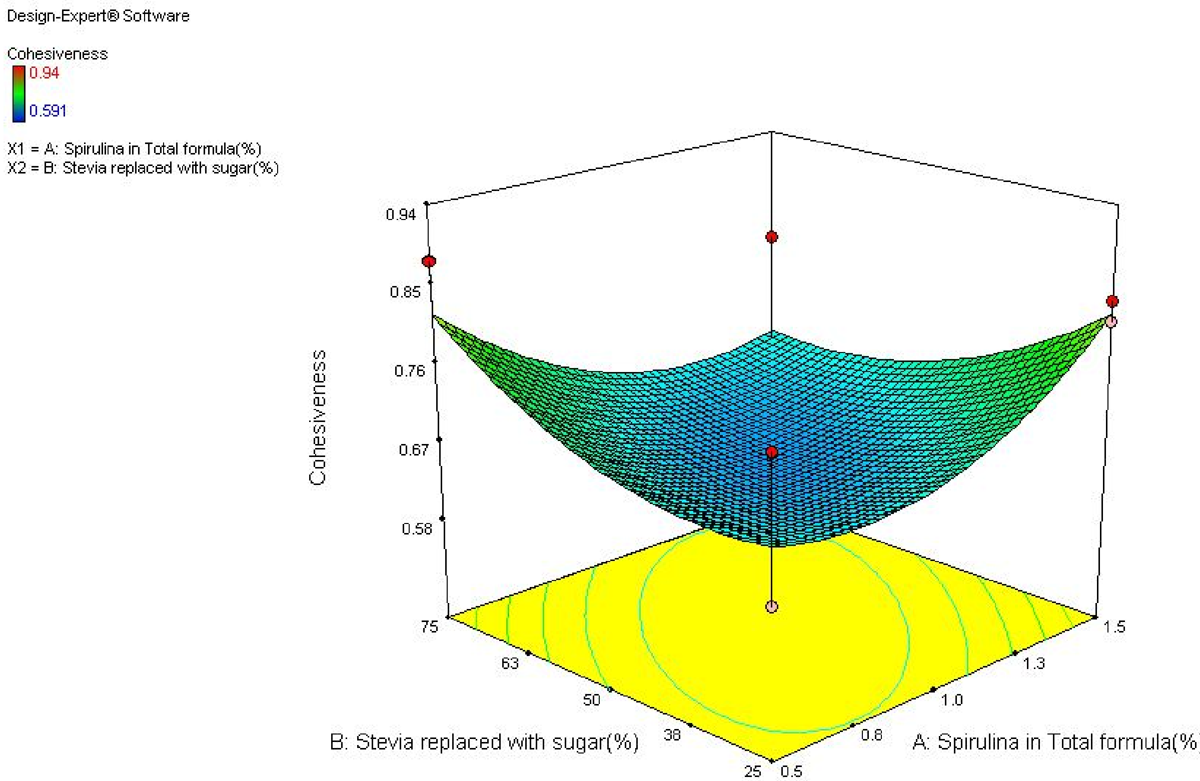


شکل 3- نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر بر سفتی بافت.

انسجام و پیوستگی بافت

طبق نتایج (جدول 3)، اثر متقابل متغیرها و اثر درجه دوم هر یک از متغیرهای مستقل بر روی انسجام و پیوستگی بافت معنی‌دار بود ($P<0/05$ و یا $P<0/001$). همان‌طور که در نمودار سطح پاسخ (شکل 4)، مشاهده می‌شود، در سطوح پایین‌تر جایگزینی استویا، با افزایش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* انسجام و پیوستگی

نمونه‌ها افزایش یافت، در حالی‌که در سطوح بالاتر جایگزینی استویا، با افزایش درصد جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* انسجام بافت نمونه‌ها کاهش یافت. به‌طورکلی، جایگزینی شیر خشک با *اسپیرولینا پلاتنسیس* تا حدودی می‌تواند بر ویژگی‌های بافتی پودینگ(سفتی و انسجام و پیوستگی) تأثیر مثبت داشته باشد. *اسپیرولینا پلاتنسیس* با داشتن گروه‌های قطبی، آب موجود در فرمولاسیون را در ساختار خود به دام انداخته و در نهایت منجر به افزایش انسجام بافت محصول می‌گردد (Sandoval-Castilla, 2004). هم‌چنین، این احتمال می‌رود که بخش پروتئینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* از طریق پیوند هیدروژنی و تعامل‌های یون- دی پل و دی پل- دی پل با مولکول‌های آب موجود در نمونه اتصال برقرار کرده و از این طریق موجب کاهش فعالیت آب نمونه و افزایش انسجام می‌شود (Chronakis, 2001). در سطوح پایین‌تر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، افزایش انسجام بافت نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی استویا مشهود بود؛ و در سطوح بالاتر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس*، با افزایش درصد جایگزینی استویا انسجام بافت نمونه‌ها کاهش یافت (شکل 4). در انواع سیستم‌های بر پایه ژل، با افزایش غلظت ساکارز، مقاومت ژل در برابر فشار افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند افزایش ماده خشک کل، کاهش آب آزاد، افزایش قدرت یونی محیط و نیز افزایش اثر متقابل صمغ/ پروتئین و ساکارز باشد (Costell *et al*., 2000). از طرفی افزایش بیش از حد ساکارز در محیط، باعث سست شدن ماتریکس ژل، افزایش کرنش و کاهش انسجام ژل می‌شود (Saha *et al*., 2010). بنابراین، جایگزینی ساکارز با استویا تا حدودی می‌تواند بر ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی پودینگ اثر مثبت داشته باشد.



شکل 4- نمودار سطح پاسخ تأثیر جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر بر انسجام بافت

بهینه‌یابی

شرایط بهینه برای تولید پودینگ طالبی به کمک جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک و جایگزینی استویا با شکر با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام شد. در جدول 4، دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است. در نهایت نتیجه به‌دست آمده برای بهینه‌سازی به‌صورت جدول 5، بود که در زیر نشان داده شده است.

جدول 4- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌سازی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* با شیر خشک (%)	0	2	is in range
جایگزینی استویا با شکر (%)	0	100	is in range
آب‌اندازی (%)	10/56	33/73	Maximize
ویسکوزیته (cP)	36830	792360	Maximize
سفتی بافت (N)	2/07	5/29	Maximize
انسجام و پیوستگی بافت	0/59	0/94	Maximize

جدول 5- ویژگی‌های فرمول بهینه‌پودینگ طالبی(واقعی) و اعتبارسنجی داده‌ها(پیش‌بینی شده)

متغیرهای پاسخ	بهینه 1		بهینه 2	
	اسپیرولینا پلاتنسیس 2 درصد و استویا 95 درصد		اسپیرولینا پلاتنسیس 0/1 درصد و استویا 50 درصد	
	واقعی	پیش‌بینی شده	واقعی	پیش‌بینی شده
آب‌اندازی (%)	22/24	23/73	19/4	17
ویسکوزیته (cP)	78706/67	792374	453810	269213
سفتی بافت (N)	2/36	9/52	4/64	5/03
انسجام و پیوستگی بافت	3/47	0/81	3/09	0/86

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بودند که مدل‌های ارائه شده با روش سطح پاسخ، کارآیی مناسبی برای پیش‌بینی و بهینه‌یابی پارامترهای مورد ارزیابی داشتند. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح جایگزینی *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا در نمونه‌های پودینگ، آب اندازی افزایش و ویسکوزیته و سختی بافت کاهش یافت. به‌طور کلی، می‌توان ادعا کرد که از *اسپیرولینا پلاتنسیس* و استویا در سطوح پایین جایگزینی، در تولید یک دسر شیری جدید با بافت مطلوب می‌توان استفاده کرد.

منابع

اسلامی مشکنانی، ع.، فدایی نوغانی، و.، خسروی دارانی، ک. و مزینانی، ص.، 1393، بررسی اثر افزودن پودر ریز جلبک بر برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی دوغ پروبیوتیک حاوی پودر نعناع، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، 2، 70-59.

رسولی، ف.، برنجی، ش. و شهاب لواسانی، ع.، 1396، بهینه‌سازی فرمولاسیون بستنی سنتی ایرانی حاوی ریز جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با استفاده از روش سطح پاسخ، علوم غذایی و تغذیه، 14، 28-15.

شوریده، م.، تسلیمی، ا.، عزیزی، م.ح.، محمدی‌فر، م.ا. و مشایخ، م.، 1389، تأثیر کاربرد D- تاگاتوز، اینولین و استویا به‌عنوان جایگزین ساکارز بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات تیره، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، 5، 38-29.

شهبازی‌زاده، س.، مقدم، م.، احمدیان، ف.و رمضانی‌پور، م.، 1393، بررسی امکان استفاده از پودر اسپیرولینا در تولید بستنی، دومین همایش کشوری سلامت شیر از تولید تا مصرف و اهمیت تغذیه، تهران، معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی ایران، 3-4 اسفند.

غیبی، ن.، رفتنی امیری، ز. و کسائی، م.ر.، 1396، بررسی اثر استویا و اینولین بر روی ساختار، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی رژیمی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، 14، 14-1.

محمدی الستی، ف.، فدائی نوغانی، و. و خسروی دارانی، ک.، 1395، تأثیر غلظت‌های مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست اسفناج پروبیوتیک، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، 26، 143-127.

مهرابی، ز. و گلی، م.، 1397، تولید دسر شیری بر پایه‌ی فرمولاسیون عسل خرما، نشاسته ذرت و ژلاتین با کمک روش سطح پاسخ(RSM)، فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، 13، 3، 125-115.

میانی سریزدی، س.، اعلمی، م.، امینی‌فر، م.، غفارپور، م.، دستمالچی، ف.، مقصودلو، ی. و محمدی، م.، 1395، بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی دسر لبنی فرا سودمند دارای مالت جو بدون پوشینه، *مهندسی بیوسیستم ایران*، 47، 3، 509-501.

نجفی، س. و صالحی‌فر، م.، 1395، بهینه‌سازی تولید مافین کم کالری با استفاده از شیرین کننده طبیعی استویا و مالتودکسترین، نشریه پژوهش های صنایع غذایی، 26، 4، 724-715.

Alamri, M.S., Mohamed, A.A. & Hussain, S., 2014, High-fibr date pits pudding: formulation, processing and textural properties, *European Food Research and Technology*, 239, 736-755.

Amerinasab, A., Labbafi, M., Mouavi, M. & Khdayian, F., 2015, Development of novel yoghurt based on date liquid suger: physicochemical and sensory characterization, *LWT-Food Science and Technology*, 52, 6583-6590.

Ares, G., Baixauli, R., Sanz, T., Varela, P. & Salvador, A., 2009, new functional fibre in milk pudding: effect on sensory properties and consumers' acceptability, *LWT-Food Science and Technology*, 42, 710-716.

Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., Ayadi, M.A., Fendri, I., Attia, H. & Abdelkafi, S., 2017, Effect of Spirulina platensis fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage, *LWT-Food Science and Technology*, 84, 323-330.

Batista, A.P., Ristiana Nunes, M.C., Fradinho, P., Gouveia, L., Sabel Sousa, I., Raymundo, A. & Franco, J.M., 2012, Novel foods with microalgal ingredients– Effect of gel setting conditions on the linear viscoelasticity of *Spirulina* and *Haematococcus* gels, *Journal of Food Engineering*, 110, 182–189.

Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K. & Shimamatsu, H., 1993, Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*, *Journal of Applied Phycology*, 5, 235-241.

Chronakis, I.S., 2001, Gelation of edible blue-green algae protein isolates (*Spirulina platensis*): Thermal transitions, rheological properties and molecular forces involved, *Bioresource Technology*, 77, 19-24.

Costell, E., Peyrolon, M. & Duran, L., 2000, Influence of texture and type of hydrocolloid on perception of basic tastes in carrageenan and gellan gels, *Food Science and Technology International*, 6(6), 495-499.

Emmons, D., Beckett, D. & Larmond, E., 1972, Physical properties and storage stability of milk based puddings made with various starches and stabilizers, *Canadian Institute of food science and technology Journal*, 5(2), 72-76.

Falquet, J., 2005, The nutritional aspects of *Spirulina*, *Antenna Technologies*, 1-5.

Louis, J.L., Balestrieri, M.L. & Napoli, C., 2007, Nutrition, physical activity and cardiovascular disease, *Cardiovascular Research*, 73, 326-340.

Malik, P., 2011, Utilization of spirulina powder for enrichment of ice cream and yoghurt. MSc thesis, Bidar University, Bidar, Karnataka.

O'Brien-Nabors, L., 2011, Alternative Sweeteners, Marcel Dekker, New York (USA), 587 p.

Paseephol, T., Small, D.M. & Sherkt, F., 2008, Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition, *Journal of Texture Studies*, 39(6), 617-634.

Philip Aidoo, R., Ohene Afoakwa, E. & Dewettinck, K., 2014, Rheological properties, melting behaviours and physical quality characteristics of sugar-free chocolates processed using inulin/ polydextrose bulking mixtures sweetened with stevia and thaumatin extracts, *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 592-597.

Saha, D., Bhattacharya, S., 2010, Characteristics of gellan gum based food gel, Journal of Texture Studies, 41, 459-471.

Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E.& Vernon-Carter, E.J, 2004, Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers, *International Dairy Journal*, 14(2), 151-159.

Saniah, K., Sharifah, M., 2012, the application of Stevia as sugar substitute in carbonated drinks using response surface methodology, *Journal of Tropical Agriculture and Food. Science*, 40(1), 23-34.

Saulo, A.A., 2005, Sugars and sweeteners in food, *Food Safety Technology*; 16, 1-7.

Shahbazizadeh, S., Khosravi, K. & Sohrabvandi, S., 2015, Fortification of Iranian Traditional Cookies with *Spirulina platensis*, *Annual Research and Review in Biology*, 7(3), 144-154.

Tarrega, A. & Costell, E., 2007, Colour and consistency of semi-solid dairy desserts: Instrumental and sensory measurements, *Journal of Food Engineering*, 78, 655-661.

Verbeken, D., Bael, K., Thas, O. & Dewettinck, K., 2006, Interactions between kcarrageenan milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts, *International Dairy Journal*, 16, 482-488.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 1, Apr. May. 2020, p. 73- 84

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 1، فروردین -اردیبهشت 1399 ص. 84-73

Optimization of *Cantaloupe* pudding formula through replacing *Spirulina platensis* and stevia with milk powder and sugar using response surface methodology (RSM)

E. Shafiee[1], M. Goli*[2]

Received: 2019.01.20
Accepted: 2019.07.01

Introduction: Milk dessert is a product that contains at least 50% the fresh cow milk or reconstituted milk, which is made with supplementary additives such as flavors, sweeteners, thickeners, and stabilizers, after undergoing heat treatment such as pasteurization or sterilization. *Spirulina platensis* is a multi-cellular microalgae and a green-blue filament that is a rich source of protein, essential amino acids, essential fatty acids, vitamins, minerals and pigments. Today, as a substitute for sucrose, non-caloric sweeteners are used, which in a small amount make too much sweetness, but they are not absorbed by the body. Of these, stevia with higher sweetness than sucrose (300 to 400 times), less calories and lower glycemia index, is a good herbal sweetener to replace sucrose.

Materials and methods: Factor A contains the percentage of algae *Spirulina platensis* (alternative to milk powder) at 5 levels (0-2 % of the final formula), factor B contains the percentage of stevia replacement with sucrose at 5 levels (0-100), to achieve optimal pudding production formula were selected. Optimization of formula was performed based on the parameters of syneresis, viscosity, hardness and cohesiveness by Response Surface Method (central composite design, α=2 with 6 central points). The results were analyzed using SPSS 20 software and the comparison of the means was done by LSD at 5% level and the charts were drawn by Excel software.

Results & Discussion

Syneresis

Generally, due to the increase of molecular connections between the chains and the outflow of water from the structure is created. According to the results of Table 3, the independent effect of stevia replacement with sugar, the interaction effect of *Spirulina platensis* and stevia replacement, and the quadratic effect of each of the independent variables on the Syneresis factor were significant (P <0.05). The rate of syneresis of the samples at higher levels of stevia replacement was reduced by decreasing the percentage of *Spirulina platensis* replacement, and at lower levels of stevia replacement, with the decrease in the percentage of *Spirulina platensis* replacement, the amount of syneresis significantly increased. Water holding capacity is linked to the ability of proteins, fats, and dietary fiber to maintain water inside the product structure. Because *Spirulina platensis* has high levels of protein, dietary fiber and fat, its presence in the formulation of frozen desserts has a significant effect on reducing the product's syneresis.

Viscosity

As shown in Table 3, the independent effect of *Spirulina platensis* replacement and stevia replacement, the interaction effect of *Spirulina platensis* and stevia replacement, the quadratic effect of *Spirulina platensis* and stevia replacement on the amount of viscosity was significant (P <0.05). The level of viscosity at lower levels of stevia replacement decreased with a decreasing percentage of *Spirulina platensis* replacement, and at the higher levels of stevia replacement, reducing *Spirulina platensis* replacement percentage was no significant effect on the viscosity (Fig. 2). In general, the presence of *Spirulina platensis* in the pudding formulation increased its viscosity, which could be due to the *Spirulina platensis* protein structure and intercellular interactions. Spirulina with high water absorption reduces water mobility. Also, the presence of fiber and hydroxyl compounds in the structure of this fine algae has a significant effect on the viscosity of the product.

Hardness and cohesiveness

Replacement of *Spirulina platensis* and Stevia in pudding formulations did not have a significant effect on the hardness and cohesiveness of texture. While the interaction effect of *Spirulina platensis* and Stevia replacement on the

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Mgolifood@yahoo.com)

hardness and cohesiveness of the pudding samples was significant (P<0.001). The quadratic effect of *Spirulina platensis* and stevia replacement on the amount of hardness and cohesiveness of texture was significant (P <0.05). At lower levels of stevia replacement, by increasing the *Spirulina platensis* replacement percentage, the hardness of the samples first increased and then decreased, while at higher levels of stevia replacement, with increasing *Spirulina platensis* replacement percentage, the hardness of the samples first decreased and then increased. Large particles of *Spirulina platensis* can cause unconnectedness and network connectivity and ultimately create a more sophisticated structure. In fact, *Spirulina platensis* protein molecules, having a hydrophilic property, compete with other molecules to bind to water molecules, which results in a weaker and more unstable gel structure. On the other hand, tissue hardness is largely dependent on dry matter, the amount and type of protein in the sample. High levels of protein cause cross-linking in the gel network and, ultimately, a rigid and dense structure. But it should be noted that the amount of sample fat plays an important role in the product's texture. Since *Spirulina platensis*, in addition to protein, also has significant amounts of fat, the intervention of the fatty molecules of this small algae can be effective in forming a weaker gel network and producing soft texture in the product. Finally, optimal formula 1 (2 % *Spirulina platensis* and 95% Stevia replacement) and optimal formula 2 (0.1% *Spirulina platensis* and 50% Stevia replacement) were predicted.

Keywords: *Spirulina platensis*, Stevia, Cantaloupe pudding, Formula optimization, Viscosity, Rheological properties